

Title	沿岸構造物を対象とした粒子法による地震津波被害の評価に関する研究(Abstract_要旨)
Author(s)	岩本, 哲也
Citation	Kyoto University (京都大学)
Issue Date	2017-09-25
URL	https://doi.org/10.14989/doctor.k20683
Right	
Type	Thesis or Dissertation
Textversion	ETD

京都大学	博士 (工学)	氏名	岩 本 哲 也
論文題目	沿岸構造物を対象とした粒子法による地震津波被害の評価に関する研究		
<p>2011 年東北地方太平洋沖地震は、Mw 9.0 という近代の人類史においても稀有な大地震であり、是によって引き起こされた大津波の影響により、多くの人命が失われ、様々な構造物および施設は甚大な被害を受けた。また巨大津波による浸水で電源喪失に至った福島第一原子力発電所のメルトダウンに伴う放射能汚染も極めて深刻であり、我が国の経済は徹底的に破壊され、民人は蹂躪され尽くした。こうした事実を受け、津波防護施設の適切な設計の在り方が問われるようになった。</p> <p>代表的な津波防護機能を持つ沿岸構造物として防波堤（その多くは混成堤）が挙げられる。件の地震津波によって東北地方の防波堤は、青森県の八戸港、岩手県の釜石港、宮城県の女川港をはじめとして致命的な被害を受けた。その破壊メカニズムの中で着目されたのが「洗掘」と呼ばれる現象であった。従来の防波堤の設計基準では、滑動、転倒、支持力の 3 つの破壊モードについての照査が求められていたが、先に述べた洗掘と呼ばれる破壊メカニズムは考慮されていなかった。また港内外の水位差による浸透力がマウンドの支持力に与えた影響も少なからずあり、洗掘と浸透力と津波水平力という 3 つの力の複合的な効果を考慮することが設計において課題となった。</p> <p>このような既往の設計基準では考慮されていなかった複雑な現象を検討するために、様々な室内実験が研究者らによって実施されてきた。実験的アプローチは有用な手段ではあるが、詳細な分析をするという観点、実際のスケールではどうなるのかという観点、コストパフォーマンスの観点からも数値解析による検討が必要である。また構造物に対して設計基準を超える外力が作用した際の大変形挙動をある程度想定しておくことも設計上重要であり、この点においても数値解析は有用な手段である。</p> <p>そこで本研究ではメッシュフリー法であり大変形解析に対して適用性の高い Smoothed Particle Hydrodynamics (SPH) と Distinct Element Method (DEM) を連成させることで、混成堤の地震津波被害に関する種々の数値解析的な検討を実施し、その手法としての適用性を検証しつつ工学的な立場に基づいて検討・分析を実施した。</p> <p>本論文は全 8 章から構成されている。各章で行ったこと、および得られた結果は以下の通りである。</p> <p>第 1 章は序論であり、研究の背景および目的、被災事例、既往の研究などについて記述している。</p> <p>第 2 章では本研究で用いている解析手法についてその詳細をまとめている。本研究では局所平均した物理量に基づく支配方程式を用いており、流体を SPH、個体を DEM でモデル化している。SPH と DEM の連成方法については、ケーソン、捨石、液状化層で取り扱いがことなるため、それぞれ詳細にまとめている。</p> <p>第 3 章はドラム型遠心力載荷模型実験装置を用いた混成堤の洗掘倒壊実験について述べている。水理実験は 1G 場において実施するのが一般的であるが、洗掘によるケーソンの倒壊という破壊現象については、基礎マウンドの強度が支配的な挙動であるため、遠心場によって実規模と同様の応力状態を再現する必要がある。実験では、洗掘量の時刻歴や、ケーソン天端の流速などを計測し、解析結果と比較して解析手法の妥当性を検証した。</p>			

京都大学	博士（工学）	氏名	岩 本 哲 也
<p>第4章は解析手法の検証と解析パラメータの決定について述べている。まず実験で用いた碎石の摩擦強度を解析において再現するために、碎石で構成される試験体の三軸圧縮試験を実施し、試験結果を適切に再現できるようなDEM解析パラメータを求めた。また遠心場で透水試験を実施し、流速－水位差関係が実験と同様となるように相互作用力を計算する際のパラメータを求め、併せて理論値との比較を実施することで解析手法の検証を実施した。このほか単球落下シミュレーションを実施して、流体中の単球の終端速度の理論値との比較を行い解析手法の妥当性を検証した。</p> <p>第5章は3章で説明した混成堤の洗掘倒壊実験の再現解析についてまとめたものである。まず4章で決定した解析パラメータを用いたうえで、妥当な再現シミュレーション結果が得られたことについて定量的に示しており、実験結果と異なる点に関しては、その原因について考察している。次に、津波越流による洗掘に対する構造的な粘り強さを確認するために、混成堤に対して様々な付加的な対策を施したケーススタディを実施し、解析的に検討した。そして各解析ケースにおけるケーソンが倒壊に至るまでの時間を比較するなどして、対策の効果を分析したうえで、構造的な粘り強さを評価する際の留意点について考察を加えた。</p> <p>第6章では本手法を用いた地盤の液状化解析を行った。このとき地盤はDEMでモデル化し、間隙流体はSPHでモデル化した。本研究では、SPH法において間隙率と関連付けられた状態方程式を採用しているため、外力が加わることでDEM地盤モデルに変形が生じ間隙率が減少した場合、状態方程式に基づいて間隙流体の水圧が大きくなる。このとき間隙水圧がDEM地盤側に作用することによって応力が減少し、地盤の液状化現象を数値解析で模擬することができる。まずDEM粒子が疎の飽和地盤モデルと密の飽和地盤モデルを作成し、重力加速度に対して所定の比をもつ正弦波で加振した。そして液状化に至るまでの入力波の繰り返し回数に基づき、液状化強度を整理した。その結果、DEMの地盤モデルを作成する際の間隙率が液状化強度と対応していることが確認された。次に、作成した飽和地盤モデル上に直方体構造物を設置し、地震動を作用させることでその沈下量を評価した。その結果、地盤の液状化による構造物の沈下量は液状化強度に対応していることが確認された。</p> <p>第7章は混成堤に対する地震の作用とそれに伴う液状化について記述している。まず混成堤に対して地震動のみが作用した際の変形について検討した。その結果、地盤の液状化によって概ね左右対称に混成堤が沈下することが確認された。これは既往の実験結果の傾向と整合する結果であった。次に混成堤の港内外に水位差が生じている状態で地震が作用した際の変形について検討した。このとき、港内外の水位差によるケーソンに対する水平力と地盤内浸透力によって変形の方に指向性を持つことを解析的に示した。さらに想定外の大きな地震力が加えられた場合の変形の経過を把握することを目的として1000gal程度の正弦波を入力した解析を実施した。最後に、混成堤周囲の液状化層を排水性の高い地盤で置き換えて改良したケーススタディを実施し、地盤の改良範囲が変形に及ぼす影響について解析的に検討した。</p> <p>第8章は結論であり、本研究で得られた成果を要約している。</p>			

2011 年東北地方太平洋沖地震は、 M_w 9.0 という近代の人類史においても稀有な大地震であり、これによって引き起こされた大津波の甚大な被害により、津波防護施設の適切な設計の在り方が問われるようになった。そこで本研究では、大変形解析に対して適用性の高い SPH と DEM を連成させることで、混成堤の地震津波被害に関する種々の数値解析的な検討を実施し、その手法としての適用性を検証しつつ工学的な立場に基づいて検討・分析を実施した。本研究で得られた成果は以下の通りである。

1. 実験結果と比較して解析手法の妥当性を検証するために、ドラム型遠心力载荷模型実験装置を用いた混成堤の洗掘倒壊実験を行った。これにより、洗掘量の時刻歴や、ケーソン天端の流速などを計測して、解析の妥当性を判断するに資する重要なデータを蓄積した。
2. 砕石で構成される試験体の三軸圧縮試験を実施し、試験結果を適切に再現できるような DEM 解析パラメータを求めた。また遠心場で透水試験を実施し、相互作用力を計算する際のパラメータを求め、併せて理論値との比較を実施することで解析手法の妥当性を検証した。これを用いて、混成堤の洗掘倒壊実験の再現解析を行い、妥当な再現シミュレーション結果となることを確認した。
3. SPH において間隙率と関連付けられた状態方程式を採用しているため、外力が加わることで DEM 地盤モデルに変形が生じ間隙率が減少した場合、状態方程式に基づいて間隙流体の水圧が大きくなる。この間隙水圧が DEM 側に作用することで、実際の地盤の液状化現象を数値解析で模擬する手法を提案した。この物理モデルは、連続体力学の枠組みで構成式を利用した解析手法に比べて、実際の地盤の粒状体としての力学的挙動に近いものがある。
4. 混成堤に対する津波と地震が同時に作用する場合について検討を行った。その結果、地震入力が多い場合には、ケーソン下から港内側に向けて深い円弧の滑りが発生することがわかり、地震と津波の同時作用の効果をより顕著な形で把握することが可能となった。
5. 東北地方太平洋沖地震の設計基準を超える大津波を受け、防波堤においてケーソンが倒壊するレベルの大変形を伴う被害が多く見受けられたが、マウンドの洗掘のような非線形性の強い挙動については、本研究で提案した解析手法が非常に有効であることが明らかになった。

以上より、本論文は、実験による検討結果を踏まえながら大変形解析を取り入れた一連の解析手法の開発と対策への適用に関して、学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成 29 年 8 月 22 日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行って、申請者が博士後期課程学位取得基準を満たしていることを確認し、合格と認めた。